半胱胺盐酸盐对泌乳中期热应激奶牛生产性能的影响

吕中旺[1,2] 刘　辉[2,3] 刘　威[2] 卜登攀[2*] 孙　鹏[2] 王加启[1,2,4] 余　雄[1] 杨开伦[1] 王志明[5] 于　青[5]

（1. 新疆农业大学动物科学学院，乌鲁木齐 830052；2.中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，动物营养学国家重点实验室，北京 100193；3.北京奶牛中心，北京 100192；4.农业部奶及奶制品质量监督检验测试中心（北京），北京 100193；5.天津梦得集团今日健康乳业有限公司，天津 300400）

摘　要：本试验旨在研究散栏式饲养方式下，饲喂半胱胺盐酸盐对泌乳中期热应激奶牛生产性能的影响。选择 48 头健康荷斯坦奶牛，体重（562.25±37.85） kg，泌乳天数（123.64±10.67） d，胎次 1.23±0.42，日产奶量（26.58±1.58） kg，根据体重、泌乳天数、产奶量相同或相近的原则，随机分成 4 组（每组 12 头），对照组饲喂基础饲粮，试验组分别在基础饲粮中添加半胱胺盐酸盐 3、15、30 g/kg。预试期 12 d，正试期 30 d。结果显示：随半胱胺盐酸盐添加剂量增加，奶牛呼吸频率和直肠温度呈显著的线性降低（P<0.05）；干物质采食量、乳脂较正乳产量、能量校正乳产量、乳脂率、乳蛋白率均呈先升高后降低的显著的二次曲线变化（P<0.05），并且以添加 3 g/kg 组的效果较好；正试期末，3、15 g/kg 组血清甲状腺素浓度显著低于对照组（P<0.05），15 g/kg 组血清皮质醇浓度显著高于对照组（P<0.05）。结果提示，半胱胺盐酸盐能有效缓解散栏饲养的泌乳中期奶牛热应激，提高产奶量和乳品质，本试验条件下，饲粮中添加 3 g/kg 半胱胺盐酸盐较为适宜。

关键词：半胱胺盐酸盐；热应激；产奶量；乳成分；血清激素

中图分类号：S823；S816.7

半胱胺具有耗竭体内生长抑素，减弱其对生长激素分泌的抑制作用，能使体内生长激素和胰岛素等分泌提高；也能通过抑制多巴胺向去肾上腺素的转化过程和调控 β-内啡肽的水平等提高生长激素的分泌[1]。生长激素对促进动物生长和泌乳等有重要的生理作用。近年来

收稿日期：2017-02-01

基金项目：“十二五”科技支撑(2012BAD12B02-5)；中国农业科学院科技创新工程（ASTIP-IAS07）

作者简介：吕中旺（1980-），男，安徽金寨人，博士研究生，从事奶牛营养代谢与牛奶品质调控研究。E-mail：lvzhongwang@sina.com

*通信作者：卜登攀，研究员，博士生导师，E-mail： budengpan@126.com

国内外研究证明，半胱胺可以促进家禽、猪、鱼、肉羊、水牛生长发育，有效提高其生产性能[2-7]。反刍动物饲粮中单独添加半胱胺试验研究报道较多，并且取得很多较好的成果。由于可促进乳腺发育和导管生长[8]，饲喂半胱胺可提高奶牛产奶量，改善乳品质[9-10]。此外，其可提高星形细胞和神经胶质瘤细胞热休克蛋白（HSP）水平[11]，减轻体外受精时热休克引起的精子损伤和卵母细胞氧化应激[12]。半胱胺盐酸盐（cysteamine hydrochloride，CSH）是采用超分子技术由β-环糊精包被的饲料添加剂。泌乳后期热应激奶牛饲喂 CSH 后体温降低，产奶量提高[13-14]，舍饲栓系条件下，处于泌乳中期的热应激奶牛饲喂 CSH 后血清三碘甲腺原氨酸（T_3）浓度降低，乳脂较正乳产量和乳脂率提高[15]。但 CSH 使用对热应激情况下奶牛泌乳性能影响效果国内外报道较少，有必要继续进行试验研究。本试验将从生产性能、呼吸频率和直肠温度等方面展开，评价在散栏饲养条件下，不同剂量 CSH 对泌乳中期热应激奶牛的应用效果,这一研究成果具有一定实际应用价值，对提高奶牛营养物质有效利用和生产性能具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

CSH 是采用微胶囊包裹技术制得的乳白色微颗粒，主体材料为β-环状糊精，有效成分含量为 30%，由上海华扩达生化科技有限公司生产。

1.2 试验动物

选择 48 头健康荷斯坦奶牛，体重（562.3±37.9） kg，泌乳天数（123.6±10.7） d，胎次 1.23±0.42，日产奶量（26.6±1.6） kg。

1.3 试验设计

试验采用随机区组设计(randomized block design)，根据体重、胎次、泌乳阶段、产奶量相同或相近的原则，将 48 头奶牛随机分成 4 组，每组 12 头。对照组饲喂基础饲粮，试验组在基础饲粮中分别添加 3(CSH3 组)、15(CSH15 组)、30 g/kg CSH(CSH30 组)。预试期 12 d，正试期 30 d。

1.4 基础饲粮与饲养管理

基础饲粮组成及营养水平见表 1，营养水平满足或超过日产奶量 25 kg 的营养需要。试验牛群采用全混合日粮(TMR)形式饲喂，每天饲喂 3 次(06:30、13:30 和 18:30)，采用阿菲金

管道式挤奶系统，每天挤奶 3 次(05:00、13:00 和 21:00)，采用散栏式饲养方式。用挡板隔开料槽，饲喂时将 CSH 按照每组添加剂量均匀拌于 TMR 中，饲喂后推 1 次料，自由采食，自由饮水。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis)　　　%

原料 Ingredients	含量 Content
苜蓿干草 Alfalfa hay	17.72
全株玉米青贮 Whole corn silage	17.50
燕麦干草 Oat hay	3.09
棉籽 Cottonseed	5.61
苹果粕 Apple pulp	3.74
甜菜粕 Sugar beet pulp	6.71
糖蜜 Molasses（30%）	2.68
玉米 Corn	18.04
蒸汽压片玉米 Steam-flaked corn	5.58
豆粕 Soybean meal	6.44
膨化黄豆 Extruded soybean	3.87
干酒糟及其可溶物 DDGS	2.45
双低菜粕 Double-low rapeseed meal	2.58
碳酸氢钙 $CaHPO_4$	0.26
碳酸钙 $CaCO_3$	0.26
食盐 NaCl	0.34
小苏打 $NaHCO_3$	0.60
活酵母菌 Live yeast	0.04
过瘤胃脂肪酸钙 Rumen protected fatty acid calcium	0.86
预混料 Premix	1.63
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels	
粗蛋白质 CP	16.50
中性洗涤纤维 NDF	35.46
酸性洗涤纤维 ADF	21.71
粗脂肪 EE	6.46
钙 Ca	0.97
磷 P	0.35
泌乳净能 NE_L/(MJ/kg)	7.20

每千克预混料含有 One kg of premix contained the following：VA 320 000 IU,VD 110 000 IU,VE 1 610 IU,Fe 805 mg,Cu 805 mg,Zn 4 024 mg,Mn 805 mg,Se 27 mg,I 48 mg,Co 11 mg。

1.5 样品采集与指标测定

1.5.1 温湿度指数(THI)

分别在每组牛料槽中部距离地面 1.5 m 处安装温湿度计，每天 05:30、13:30、21:30 记录牛舍温温度、湿度，计算 THI。

$$THI=0.81T+(0.99T-14.3)R+46.3$$ [16]。

式中：T 为温度（℃），R 为相对湿度（%）。

1.5.2 呼吸频率直肠温度

正试期前 1 周和正试期每周，连续 3 d，每天 07:30、14:00、21:30 测定单头牛呼吸频率和直肠温度（包括雨天）。用计时器人工记录每分钟呼吸次数，用电子体温表测定直肠温度。

1.5.3 干物质采食量

试验期每周连续 3 d，每天 3 次测定单头牛采食量。测定方法是逐头牛饲喂等量 TMR，固定牛采食位置，让其自由采食，1.0~1.5 h 时推料 1 次，采食 2 h 逐头称重剩料，计算每头牛每天采食量，同时采集 TMR 和每组剩料样品，将每天的样品用四分法缩样，-20 ℃存样。65 ℃烘 48 h 测定初水分，粉碎过 20 目筛，四分法缩样，取约 300 g 再次粉碎，过 40 目筛，105 ℃烘 4 h 测定干物质含量，计算干物质采食量。

1.5.4 产奶量及乳成分

阿菲金系统每天自动记录产奶量，挤奶时观察系统运转是否正常，做好异常情况记录。每隔7 d采集1次奶样，将早、中、晚3次的奶样按4:3:3混合，每次采集50 mL，加入重铬酸钾防腐，用FOSS乳成分分析仪及体细胞仪测定乳脂率、乳蛋白率、乳糖率和乳体细胞数，在农业部奶及奶制品质量监督检验测试中心（北京）完成。计算4%乳脂较正乳产量和能量较正乳产量。计算公式如下：

乳脂较正乳(4% FCM)产量（kg/d）=0.4×产奶量(kg/d)+15×乳脂产量(kg/d)[17]；

能量校正乳(ECM)产量（kg/d）=0.327×产奶量(kg/d)+12.95×乳脂产量(kg/d)+7.20×乳蛋白产量(kg/d)[18]。

1.5.5 血清激素浓度

在正试期前 1 d 和最后 1 d，试验牛尾根采集血液，血液样品 940×g、4 ℃离心 15 min（CR22G 离心机，HITACHI 公司），分离血清。采用试剂盒测定血清激素浓度，血清皮质

醇、胰岛素、三碘甲腺原氨酸、甲状腺素、甲状腺刺激激素浓度检测试剂盒均由北京北方生物技术研究所生产。

1.5.6　饲粮营养水平

粗蛋白质含量采用 FOSS 凯氏定氮仪测定，中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量采用 FOSS 纤维分析仪测定，粗脂肪含量采用 FOSS 索氏脂肪提取仪检测，磷含量的测定采用原子吸收分光光度计法，钙含量的测定采用 GB/T 13885 中的方法。

1.6　数据统计分析

试验数据统计利用 SAS 9.2 软件包中的 PROC MIXED 程序进行方差分析，采用图肯检验（Tukey Test）进行多重比较，显著水平为 P<0.05。

2　结　果

2.1　THI

由图 1 可以看出，整个试验期除 2013 年 8 月 30 日之后（日平均温度降至 25 ℃以下）的个别时间点外，其余时间点的 THI 均在 68 以上，日平均值均在 72 以上。而奶牛适宜 THI 为 68 以下，可见，处于热应激状态。

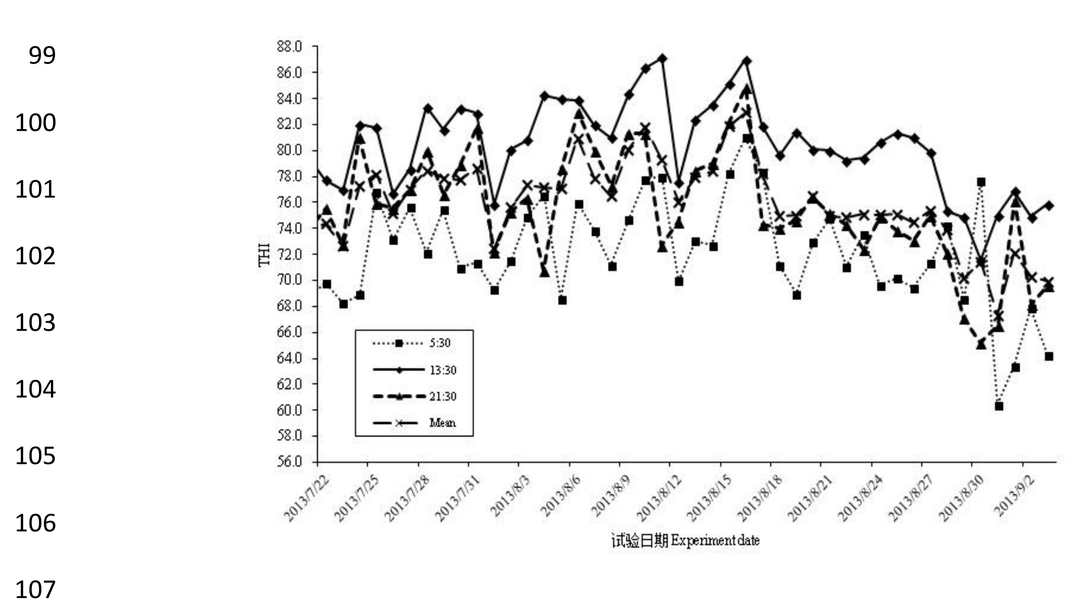


图 1　牛舍 THI 变化曲线

Fig.1　Changing curve of THI of cow barn

2.2　直肠温度和呼吸频率

由表 2 可知，随着添加剂量的增加，奶牛呼吸频率和直肠温度均呈显著的线性降低

（*P*<0.05），CSH30 组达到最低，CSH3 组与对照组相比呼吸频率有所升高，但差异不显著（*P*>0.05），直肠温度有降低的趋势，差异也不显著（*P*>0.05）。

表 2　半胱胺盐酸盐对泌乳中期热应激奶牛呼吸频率和直肠温度的影响

Table 2　Effects of CSH on RR and RT of heat-stressed mid-lactating cows

项目 Items	组别 Groups				SEM	*P* 值 *P*-value		
	对照 Control	CSH3	CSH15	CSH30		组别 Group	线性 Linear	二次 Quadratic
呼吸频率 RR/(次/min)	77.74[a]	78.71[a]	74.19[b]	70.59[c]	1.08	<0.001	<0.001	0.017
直肠温度 RT/℃	39.37[a]	39.34[ab]	39.26[b]	39.18[b]	0.04	0.002	<0.001	0.455

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著(*P*<0.05),相同或无小写字母表示差异不显著(*P*>0.05)。下表同。

Values in the same row with different small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05), while with the same or no small letter superscripts mean no significant difference (*P*>0.05). The same as below.

2.3　干物质采食量和产奶量

CSH3、CSH15、CSH30 组干物质采食量比对照组分别提高约 1.55、1.02、0.37 kg/d，其中 CSH3、CSH15 组与对照组差异显著（*P*<0.05），CSH30 组较之 CSH3、CSH15 组显著降低（*P*<0.05）（表 3）；在处于严重热应激的第 0、1、2 周 CSH3 组虽然干物质采食量也降低，但一直高于其他组（图 2）。试验组乳脂较正乳产量和能量校正乳产量比对照组显著提高（*P*<0.05），但随着 CSH 添加剂量的升高，乳脂较正乳产量和能量校正乳产量呈显著的二次曲线变化（*P*<0.05）（表 3）；在整个试验期，CSH3 组产奶量一直保持较高水平（图 3）。

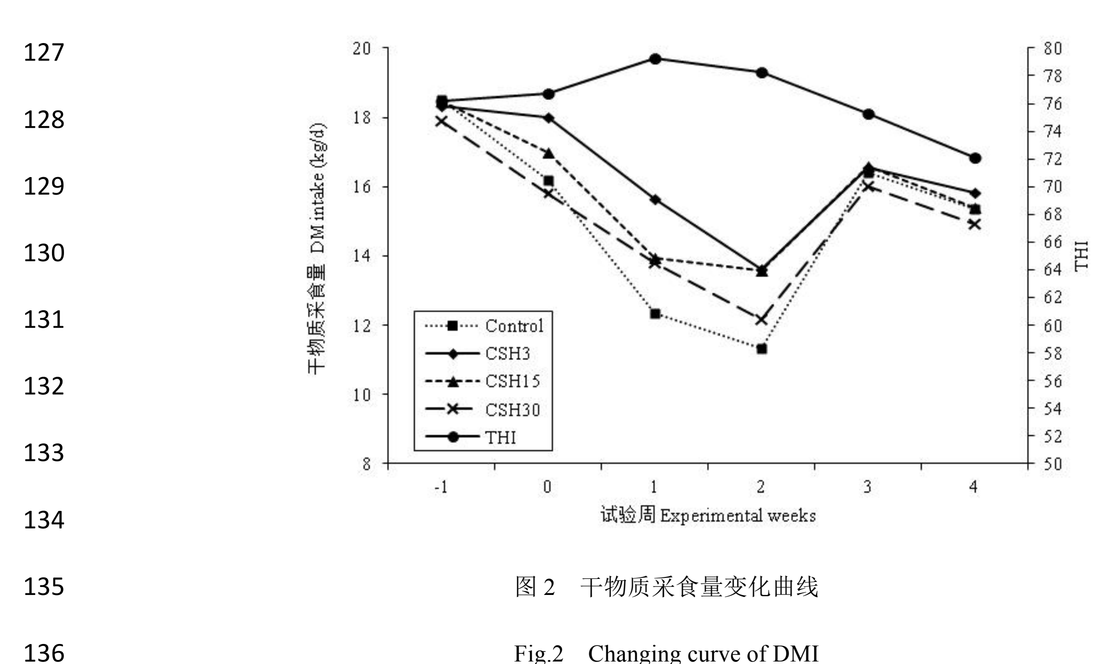


图 2　干物质采食量变化曲线

Fig.2　Changing curve of DMI

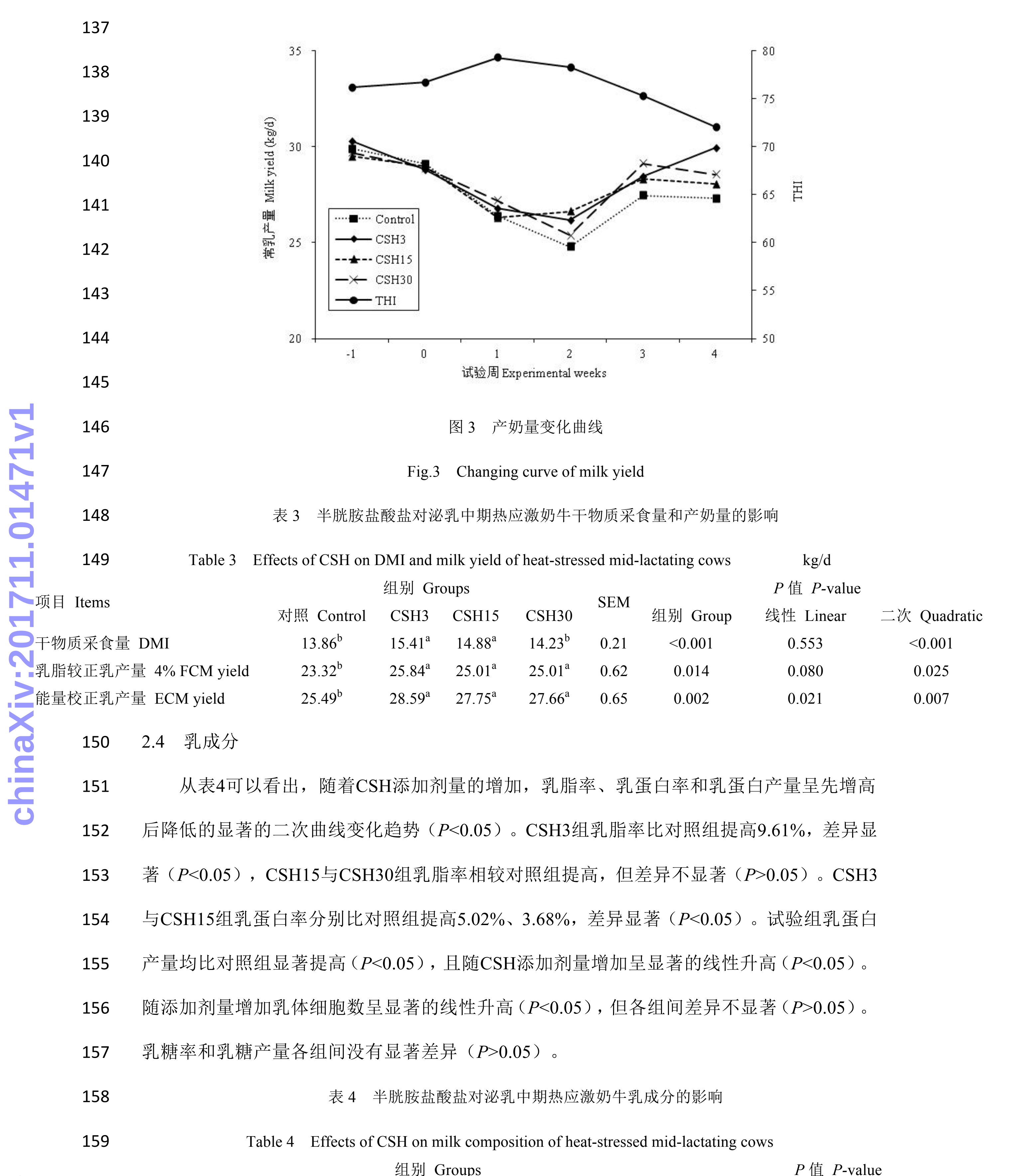


图 3　产奶量变化曲线

Fig.3　Changing curve of milk yield

表 3　半胱胺盐酸盐对泌乳中期热应激奶牛干物质采食量和产奶量的影响

Table 3　Effects of CSH on DMI and milk yield of heat-stressed mid-lactating cows　　kg/d

项目 Items	组别 Groups				SEM	*P* 值 *P*-value		
	对照 Control	CSH3	CSH15	CSH30		组别 Group	线性 Linear	二次 Quadratic
干物质采食量 DMI	13.86[b]	15.41[a]	14.88[a]	14.23[b]	0.21	<0.001	0.553	<0.001
乳脂较正乳产量 4% FCM yield	23.32[b]	25.84[a]	25.01[a]	25.01[a]	0.62	0.014	0.080	0.025
能量校正乳产量 ECM yield	25.49[b]	28.59[a]	27.75[a]	27.66[a]	0.65	0.002	0.021	0.007

2.4　乳成分

从表4可以看出，随着CSH添加剂量的增加，乳脂率、乳蛋白率和乳蛋白产量呈先增高后降低的显著的二次曲线变化趋势（P<0.05）。CSH3组乳脂率比对照组提高9.61%，差异显著（P<0.05），CSH15与CSH30组乳脂率相较对照组提高，但差异不显著（P>0.05）。CSH3与CSH15组乳蛋白率分别比对照组提高5.02%、3.68%，差异显著（P<0.05）。试验组乳蛋白产量均比对照组显著提高（P<0.05），且随CSH添加剂量增加呈显著的线性升高（P<0.05）。随添加剂量增加乳体细胞数呈显著的线性升高（P<0.05），但各组间差异不显著（P>0.05）。乳糖率和乳糖产量各组间没有显著差异（P>0.05）。

表 4　半胱胺盐酸盐对泌乳中期热应激奶牛乳成分的影响

Table 4　Effects of CSH on milk composition of heat-stressed mid-lactating cows

项目 Items	组别 Groups				SEM	*P* 值 *P*-value		
	对照 Control	CSH3	CSH15	CSH30		组别 Group	线性 Linear	二次 Quadratic

乳脂率 Milk fat percentage/%	3.33^{b}	3.65^{a}	3.52a^{b}	3.35^{b}	0.09	0.021	0.826	0.003
乳蛋白率 Milk protein percentage/%	2.99^{b}	3.14^{a}	3.10^{a}	3.08a^{b}	0.04	0.036	0.151	0.024
乳糖率 Lactose percentage/%	4.89	4.85	4.93	4.86	0.02	0.056	0.826	0.445
乳脂产量 Milk fat yield/(kg/d)	0.87	0.95	0.94	0.95	0.03	0.101	0.058	0.176
乳蛋白产量 Milk protein yield/(kg/d)	0.79^{b}	0.90^{a}	0.85^{a}	0.87^{a}	0.02	0.002	0.026	0.034
乳糖产量 Lactose yield/(kg/d)	1.29	1.35	1.36	1.37	0.03	0.266	0.079	0.465
乳体细胞数 Milk SCC/[lg（个/mL)]	7.51	8.03	7.91	8.16	0.23	0.077	0.028	0.484

2.5 血清激素浓度

由表 5 可见，正试期前，各试验组和对照组间血清皮质醇、胰岛素、三碘甲腺原氨酸、甲状腺素、甲状腺刺激激素浓度没有显著差异（P>0.05）。正试期末，随 CSH 添加剂量的增加，血清皮质醇浓度呈先升高后降低的显著的二次曲线变化（P<0.05），血清三碘甲腺原氨酸、甲状腺素浓度呈先降低后升高的显著的二次曲线变化（P<0.05）。CSH15 组血清皮质醇浓度比对照组提高 27.61%，差异显著（P<0.05）。CSH3 和 CSH15 组血清三碘甲腺原氨酸浓度比对照组降低，但差异不显著（P>0.05），血清甲状腺素浓度分别比对照组降低 22.00%、25.66%，差异显著（P<0.05），这 2 组间差异不显著（P>0.05）。CSH15 和 CSH30 组血清胰岛素浓度较对照组降低，但差异不显著（P>0.05）。

表 5 半胱胺盐酸盐对泌乳中期热应激奶牛血清激素浓度的影响

Table 5 Effects of CSH on serum hormone concentrations of heat-stressed mid-lactating cows

项目 Items	组别 Group				SEM	P 值 P-value		
	对照 Control	CSH3	CSH15	CSH30		组别 Group	线性 Linear	二次 Quadratic
正试期前 Before trial period								
皮质醇 COR/(ng/mL)	14.96	14.68	17.38	14.04	1.36	0.305	0.993	0.228
胰岛素 INS/(μIU/mL)	14.55	13.83	11.45	12.41	1.04	0.137	0.055	0.409
三碘甲腺原氨酸 T_3/(ng/mL)	3.14	3.33	3.13	3.16	0.15	0.765	0.850	0.591
甲状腺素 T_4/(ng/mL)	108.71	97.22	91.91	101.06	5.39	0.150	0.229	0.055
甲状腺刺激激素 TSH/(μIU/mL)	0.15	0.14	0.19	0.23	0.04	0.327	0.081	0.598
正试期末 At the end of trial period								
皮质醇 COR/(ng/mL)	18.65^{b}	22.18^{ab}	23.80^{a}	14.94^{b}	1.73	0.003	0.217	0.001
胰岛素 INS/(μIU/mL)	11.50	11.50	9.38	10.18	0.89	0.211	0.100	0.630
三碘甲腺原氨酸 T_3/(ng/mL)	4.13	3.86	3.53	4.32	0.25	0.116	0.797	0.028
甲状腺素 T_4/(ng/mL)	108.13^{a}	84.34^{b}	80.38^{b}	100.08^{ab}	6.42	0.011	0.304	0.001
甲状腺刺激激素 TSH/(μIU/mL)	0.11	0.14	0.11	0.12	0.01	0.388	0.852	0.447

3 讨 论

夏季炎热环境一直是影响泌乳奶牛生产性能的重要因素，THI 是衡量环境炎热程度的有力指标，当 THI 大于 68 时奶牛就开始处于热应激状态，达到 76 时导致严重热应激[19]，并

且 THI 超过 72 后，数值每增加 1 产奶量下降 0.2 kg[20]。本试验测得试验期牛舍内 THI 日平均值基本都在 72 以上，表明奶牛一直处于热应激环境。奶牛热应激时呼吸频率和直肠温度都会提高，本试验中添加 CSH 后使两者均显著降低，与沈赞明等[13]得到 CSH 降低奶牛直肠温度的结果一致。

胰岛素可使乳腺血流量增加，氨基酸利用率和葡萄糖摄取量提高，从而提高产奶量和乳蛋白产量[21-22]。本试验中，乳脂较正乳产量、能量校正乳产量、乳脂率、乳蛋白率均以 CSH3 组最高，CSH15、CSH30 组相较 CSH3 组降低，这可能与后 2 组血清胰岛素浓度比对照组和 CSH3 组低有关。前人研究证明，半胱胺可以耗竭生长抑素，促进生长激素合成和分泌[23]，生长激素的提高能促进乳腺发育，进而促进产奶量提高，并且具有提高乳脂、乳蛋白合成的能力。但有研究表明，高剂量的半胱胺可能抑制生长激素分泌[24]。本试验中当 CSH 添加剂量达到 15、30 g/kg 时，产奶量比添加剂量为 3 g/kg 时低，可能由于 15、30 g/kg CSH 抑制了生长激素分泌，导致产奶量相应地降低。

热应激环境下，为了降低产热量，奶牛甲状腺活动减弱，使血液三碘甲腺原氨酸、甲状腺素浓度降低[19]，本试验中，添加 3、15 g/kg CSH 使血清甲状腺素浓度显著降低，血清三碘甲腺原氨酸浓度也有降低趋势，说明产热进一步减少，添加 CHS 有缓解奶牛热应激的作用。有研究证明，泌乳奶牛血液甲状腺激素浓度与产奶量呈负相关[25]。本试验中，随 CSH 添加剂量的增加血清三碘甲腺原氨酸、甲状腺素浓度呈先降低后增加，而产奶量呈先增加后降低，与上述报道一致。皮质醇是反映热应激的重要指标，目前有关热应激奶牛血液质醇浓度变化的报道不尽一致，有报道热应激的奶牛血液皮质醇浓度显著下降[26-27]；另有观点认为，血液皮质醇浓度在急性热应激时呈上升趋势，而在持续热应激时则呈下降趋势[28]。前人用 CSH 饲喂拴系饲养的热应激奶牛对血液皮质醇浓度未产生显著影响[15]。本试验中添加 3 和 15 g/kg CSH 使血清皮质醇浓度比对照组升高，15 g/kg CSH 效果显著。血液皮质醇浓度受温度和能量平衡的双重调节，其升高有利于组织修复和代谢调节，总之，其对机体抵抗有害刺激起着重要作用。

4 结　论

散栏式饲养条件下，饲喂 CSH 显著能提高泌乳中期热应激奶牛干物质采食量、乳脂较正乳产量和能量校正乳产量，显著提高乳脂率和乳蛋白率，并且 CSH 在热应激奶牛上的效

果具有剂量限制，本试验条件下，饲粮中添加 3 g/kg CSH 较为适宜。

参考文献:

[1] XIAO D,LIN H R.Effect of cysteamine hydrochloride on growth hormone secretion from hypothalamus-pituitary tissue in juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*)[J].Acta Zoologica Sinica,2002,49(5):600–605.

[2] HU Y,NI Y,REN L,et al.Leptin is involved in the effects of cysteamine on egg laying of hens,characteristics of eggs,and posthatch growth of broiler offspring[J].Poultry Science,2008,87(9):1810–1817.

[3] DU G,SHI Z,XIA D,et al.Cysteamine improves growth performance and gastric ghrelin expression in preweaning piglets[J].Domestic Animal Endocrinology,2012,42(4):203–209.

[4] LIU G M,WANG Z S,WU D,et al.Effects of dietary cysteamine supplementation on growth performance and whole-body protein turnover in finishing pigs[J].Livestock Science,2009,122(1):86–89.

[5] LI Y,LIU X C,ZHANG Y,et al.Effects of cysteamine on mRNA levels of growth hormone and its receptors and growth in orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides*)[J].Fish Physiology and Biochemistry,2013,39(3):605–613.

[6] 叶继丹,王子甲,王琨.饲料中不同半胱胺添加水平对牙鲆生长性能及血液生化指标的影响[J].水产学杂志,2009,22(3):19–22.

[7] 张英杰,刘月琴,孙洪新.饲喂半胱胺对绵羊小肠主要消化酶活性的影响[J].畜牧兽医学报,2006,37(10):999–1002.

[8] 王月影,王艳玲,杨国宇,等.半胱胺促进奶山羊乳腺发育的试验研究[J].家畜生态学报,2006,26(6):9–12.

[9] 王艳玲,李振田,董秀钿,等.半胱胺对奶牛产奶量及血浆生长抑素、生长激素水平的影响[J].中国畜牧杂志,1999,35(6):14–15.

[10] 沈赞明,张荣飞,解红梅,等.半胱胺盐酸盐对泌乳 20~42 周奶牛产奶性能和部分免疫指标的影响[J].畜牧兽医学报,2005,36(7):667–673.

[11] CHOPRA V S,CHALIFOUR L E,SCHIPPER H M.Differential effects of cysteamine on

heat shock protein induction and cytoplasmic granulation in astrocytes and glioma cells[J].Molecular Brain Research,1995,31(1/2):173–184.

[12] SAKATANI M,BALBOULA A Z,YAMANAKA K,et al.Effect of heat shock and cysteamine during in vitro fertilization on preimplantation development of bovine embryo[C]//Biology of Reproduction.Madison:SOC Study Reproduction,2010:107–108.

[13] 沈赞明,张荣飞.半胱胺盐酸盐对高温条件下泌乳后期奶牛生产性能的影响[J].中国应用生理学杂志,2005,20(4):402–405.

[14] 高俊梅,陈军,丁威,等.CT2000 对高温季节奶牛产奶性能的影响[J].家畜生态学报,2008,29(2):30–34.

[15] 张荣飞,沈赞明.半胱胺盐酸盐对高温季节奶牛生产性能的影响[J].动物营养学报,2007,19(2):153–156.

[16] PAN L,BU D P,WANG J Q,et al.Effects of *Radix bupleuri* extract supplementation on lactation performance and rumen fermentation in heat-stressed lactating Holstein cows[J].Animal Feed Science and Technology,2014,187:1–8.

[17] HAISAN J,SUN Y,GUAN L L,et al.The effects of feeding 3-nitrooxypropanol on methane emissions and productivity of Holstein cows in mid lactation[J].Journal of Dairy Science,2014,97(5):3110–3119.

[18] BU D P,WANG J Q,DHIMAN T R,et al.Effectiveness of oils rich in linoleic and linolenic acids to enhance conjugated linoleic acid in milk from dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2007,90(2):998–1007.

[19] WEST J W.Effects of heat-stress on production in dairy cattle[J].Journal of Dairy Science,2003,86(6):2131–2144.

[20] RAVAGNOLO O,MISZTAL I.Genetic component of heat stress in dairy cattle,parameter estimation[J].Journal of Dairy Science,2000,83(9):2126–2130.

[21] MACKLE T R,DWYER D A,INGVARTSEN K L,et al.Effects of insulin and amino acids on milk protein concentration and yield from dairy cows[J].Journal of Dairy Science,1999,82(7):1512–1524.

[22] MACKLE T R,DWYER D A,INGVARTSEN K L,et al.Effects of insulin and postruminal supply of protein on use of amino acids by the mammary gland for milk protein synthesis[J].Journal of Dairy Science,2000,83(1):93–105.

[23] SZABO S,REICHLIN S.Somatostatin in rat tissues is depleted by cysteamine administration[J].Endocrinology,1981,109(6):2255–2257.

[24] MCLEOD K R,HARMON D L,SCHILLO K K,et al.Effects of cysteamine on pulsatile growth hormone release and plasma insulin concentrations in sheep[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part B:Biochemistry and Molecular Biology,1995,112(3):523–533.

[25] UMPHREY J E,MOSS B R,WILCOX C J,et al.Interrelationships in lactating Holsteins of rectal and skin temperatures,milk yield and composition,dry matter intake,body weight,and feed efficiency in summer in Alabama[J].Journal of Dairy Science,2001,84(12):2680–2685.

[26] 李建国,桑润滋,张正珊,等.热应激对奶牛生理常值、血液生化指标、繁殖及泌乳性能的影响[J].河北农业大学学报,1998,21(4):69–75.

[27] 宋代军,何钦,姚焰础.热应激对不同泌乳阶段奶牛生产性能和血清激素浓度的影响[J].动物营养学报,2013,25(10):2294–2302.

[28] AL-SAIADY M Y,AL-SHAIKH M A,AL-MUFARREJ S I,et al.Effect of chelated chromium supplementation on lactation performance and blood parameters of Holstein cows under heat stress[J].Animal feed science and technology,2004,117(3/4):223–233.

Effects of Cysteamine Hydrochloride on Production Performance of Heat-Stressed Mid-Lactating Dairy Cows

LYU Zhongwang[1,2] LIU Hui[2,3] LIU Wei[2] BU Dengpan[2*] SUN Peng[2] WANG Jiaqi[1,2,4]

YU Xiong[1] YANG Kailun[1] WANG Zhiming[5] YU Qing[5]

（1. *College of Animal Science*, *Xinjiang Agricultural University* ,*Urumqi* 830052, *China*; 2. *State Key Laboratory of Animal Nutrition*, *Institute of Animal Science*，*Chinese Academy of Agricultural Science*, *Beijing* 100193, *China*; 3. *Beijing Dairy Cattle Center*, *Beijing* 100192, *China*; 4.

*Corresponding author，professor, E-mail：budengpan@126.com

(责任编辑 王智航)

Ministry of Agriculture-Milk and Dairy Product Inspection Center (*Beijing*), *Beijing* 100193 ,*China*; 5. *Jinrijiankang Dairy Co*., *Ltd*., *Tianjin Mengde Group*, *Tianjin* 300400, *China*)

Abstract: This study aimed at researching the effects of cysteamine hydrochloride (CSH) on production performance of mid-lactating cows suffered from heat stress in free stall barn. Forty-eight healthy mid-lactation Holstein dairy cows with body weight of (562.25±37.85) kg, milk yield of (26.58±1.58) kg, 1.23±0.42 parity and (123.64±10.67) d in milk were randomly divided into 4 groups (12 cows per group). Cows in 4 groups were fed diets containing 0 (control), 3, 15 and 30 g/kg CSH in diet, respectively. The pre-trial lasted for 12 d, and the trial lasted for 30 d. The results showed as follows: with the increase of CSH supplemental level, respiratory rate and rectal temperature was linearly significantly reduced (P<0.05); dry matter intake, 4% fat-corrected milk yield, energy-corrected milk yield, milk fat percentage and milk protein percentage were quadratically significantly change of firstly increased and then decreased (P<0.05), and 3 g/kg group showed better effects; at the end of trial period, compared with control group, serum thyroxin concentration in 3 and 15 g/kg groups was significantly decreased (P<0.05), and serum cortisol concentration in 15 g/kg group was significantly increased (P<0.05). The results indicate that CSH can effectively relief heat stress of mid-lactating cows in free stall barn, and increase milk yield and milk quality. The optimum CSH supplemental level in diet is 3 g/kg under the conditions in the present study.

Key words: cysteamine hydrochloride; heat-stress; milk yield; milk composition; serum hormone